

Analisis Sistem Proteksi Hubung Singkat Pada Jaringan Tegangan Menengah 20kV Menggunakan Aplikasi *Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP) Di PT. PLN (Persero) ULP Ngunut

Baldwin Krisna Juandika

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: baldwinkrisna.19040@mhs.unesa.ac.id

Bambang Suprianto, Tri Rijanto, Unit Three Kartini

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : bambangsuprianto@unesa.ac.id, tririjanto@unesa.ac.id, unitthree@unesa.ac.id

Abstrak

Di sekitar kita merupakan sistem distribusi, dimana energi listrik disalurkan ke konsumen. Dalam penyaluran energi listrik pasti ada gangguan yang terjadi. Keberadaan dari sistem proteksi juga bisa menjadi pelindung peralatan-peralatan sekitar, sehingga dapat melindungi ketika terjadi gangguan seketika atau sewaktu-waktu. Di PT. PLN (Persero) ULP Ngunut sering terjadi gangguan hubung singkat. Sehingga tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk meninjau apakah setting sistem proteksi gangguan hubung singkat pada jaringan tegangan menengah 20 kV menggunakan aplikasi ETAP yang terjadi di PT. PLN (Persero) ULP Ngunut telah sesuai atau tidak. Jenis penelitian yaitu studi kasus menggunakan metode simulasi menggunakan ETAP dan perhitungan manual. Hasil penelitian simulasi gangguan hubung singkat direspon Recloser Ngunut sebesar 0,937 kA dengan waktu 413 ms. Dan perhitungan OCR sisi penyulang primer 155,715 A, sisi sekunder 1,56 A, dan TMS 0,1398 s. Serta perhitungan GFR sisi penyulang primer 16,8611 A, sisi sekunder 0,1686 A, dan TMS 0,1244 s. Didapatkan kesimpulan bahwa sistem proteksi yang terpasang di PT. PLN (Persero) ULP Ngunut telah terkoordinasi dan tersetting dengan baik didukung oleh perhitungan setting OCR dan GFR sisi penyulang dan incoming. Selain itu, besar arus gangguan hubung singkat berbanding terbalik dengan jauh jarak gangguan dari sumber.

Kata Kunci: ETAP, Relai Proteksi, Hubung Singkat

Abstract

All around us is a distribution system, where electrical energy is distributed to consumers. In the distribution of electrical energy there must be interference that occurs. The existence of a protection system can also be a protector of surrounding equipment, so that it can protect when there is an instantaneous or intermittent disturbance. At PT. PLN (Persero) ULP Ngunut frequent short circuit interruptions. So the purpose of this research is to see whether the short circuit protection system settings on a 20 kV medium voltage network use the ETAP application that occurs at PT. PLN (Persero) ULP Ngunut is appropriate or not. This type of research is a case study using a simulation method using ETAP and manual calculations. The results of the short circuit fault simulation research were responded by the Ngunut Recloser of 0.937 kA with a time of 413 ms. And the OCR calculation of the primary feeder side is 155.715 A, the secondary side is 1.56 A, and the TMS is 0.1398 s. As well as calculating the GFR of the primary feeder side of 16.8611 A, the secondary side of 0.1686 A, and TMS 0.1244 s. It was concluded that the protection system installed at PT. PLN (Persero) ULP Ngunut has been well coordinated and set up supported by calculations of the OCR and GFR settings for the feeder and incoming sides. In addition, the magnitude of the short circuit fault current is inversely proportional to the distance of the fault from the source.

Keywords: ETAP, Protection Relay, Short Circuit

PENDAHULUAN

Di kehidupan sehari-hari, sistem energi listrik menjadi bagian penting bukan hanya di bidang industri namun juga di bidang lain misalnya pendidikan dan ekonomi. Sistem dalam penyaluran energi listrik terbagi tiga sistem yaitu sistem pembangkit, transmisi, dan distribusi. Di sekitar kita

merupakan sistem distribusi, dimana energi listrik disalurkan ke konsumen.

Gangguan yang terjadi dapat mengakibatkan terlepasnya penyuplaian energi listrik ke pelanggan dan kerusakan pada alat kelistrikan yang terpasang (Adrian dan Nasrulloh, 2022). Oleh karena itu, sistem proteksi memiliki

peran yang sangat krusial demi keberlangsungan sistem distribusi. Keberadaan dari sistem proteksi juga bisa menjadi pelindung peralatan-peralatan sekitar, sehingga dapat melindungi ketika terjadi gangguan seketika atau sewaktu-waktu.

Selama tanggal 1 hingga 10 Januari 2022 tersebut Recloser Turi yang ada di Penyulang Tunggangri terjadi gangguan sebanyak 4 kali, Recloser Kromasan yang ada di Penyulang Kalidawir terdapat gangguan 2 kali, dan Recloser Ngunut ada di Penyulang Ngunut terdapat gangguan 2 kali. Sehingga total banyak gangguan dialami PT. PLN (Persero) ULP Ngunut selama 10 hari saja sebanyak 8 gangguan. Tentu hal tersebut sangat merugikan baik masyarakat maupun pihak PLN. Dari kedelapan gangguan yang terjadi pada tanggal tersebut di PT. PLN (Persero) ULP Ngunut, semuanya diakibatkan oleh hubung singkat yang terjadi baik antar fasa ataupun fasa ke tanah.

Sesuai dengan permasalahan yang telah dijelaskan, rumusan masalah penelitian ini apakah setting sistem proteksi gangguan hubung singkat pada jaringan tegangan menengah 20 kV menggunakan aplikasi ETAP yang terjadi di PT. PLN (Persero) ULP Ngunut telah sesuai atau tidak.

Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi termasuk ke dalam sistem tenaga listrik. Sistem ini berguna untuk mendistribusikan energi listrik yang disuplai sumber pembangkit atau curah ke pelanggan. Maka distribusi tenaga listrik memiliki fungsi sebagai pendistribusian tenaga listrik kepada konsumen, dan termasuk subsistem energi listrik yangmana berhubungan langsung kepada konsumen, dikarenakan penyaluran energi listrik ke beban-beban atau konsumen langsung melewati jaringan distribusi (Azis dan Febrianti, 2019).

Jaringan Tegangan Menengah 20kV

Jaringan ini berawal di gardu induk yang biasanya berada di setiap daerah yang padat penduduk. Semakin banyak penduduk di suatu daerah tersebut biasanya akan dibangun gardu induk untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat. Selanjutnya daya yang ada pada gardu tegangan menengah akan disalurkan menuju ke gardu-gardu distribusi yang tersebar di berbagai titik pemukiman penduduk (Galla, 2020).

Komponen yang terdapat pada jaringan tegangan menengah 20kV yaitu: a) Transformator *step down*, b) Perangkat Hubung Bagi Tegangan Menengah, c) Perangkat Hubung Bagi Tegangan Rendah, d) Transformator Tegangan, e) Transformator Arus, f) *Fuse Cut Out*, dan g) *Lighting Arrester*.

Sistem Proteksi Distribusi

Pada jaringan 20 kV seringkali terjadi gangguan hubung singkat, baik itu 3 fasa, 2 fasa atau 1 fasa ke tanah, jikalau

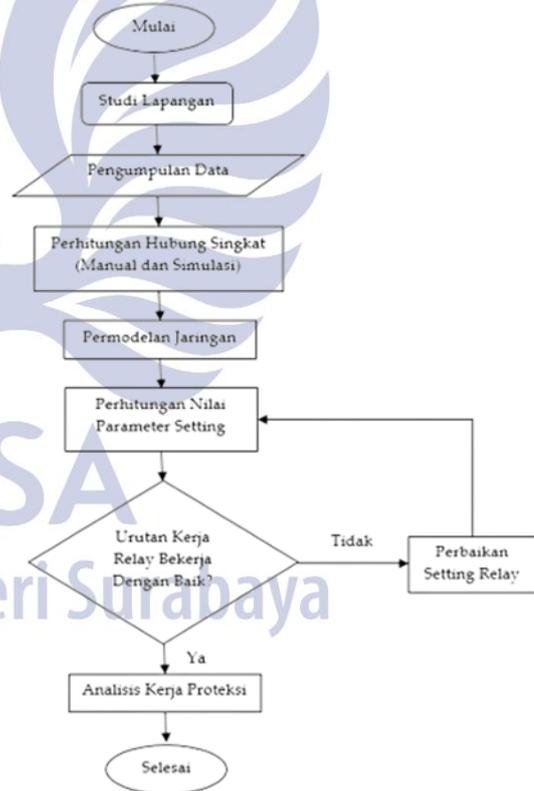
setting sistem proteksi tidak tepat bisa menimbulkan *blackout* yang luas (Nisa, dkk, 2019).

Fungsi sistem proteksi yaitu: (1) Menjaga keterandalan peralatan proteksi maupun peralatan jaringan listrik diakibatkan adanya gangguan serta operasional sistem yang tidak biasa; (2) Meningkatkan keterandalan peralatan proteksi maupun peralatan jaringan listrik diakibatkan adanya gangguan serta operasional sistem yang tidak biasa; (3) Memperkecil area yang mengalami gangguan sehingga tidak meluas; (4) Melayani konsumen dengan memberikan energi listrik yang andalan dan bermutu; dan (5) Memberikan keamanan kepada manusia atau makhluk hidup terhadap tegangan listrik yang tidak dapat ditahan.

Adapun persyaratan yang harus dipenuhi sistem proteksi yaitu: (1) Keterandalan; (2) Selektivitas; (3) Sensitivitas; (4) Kecepatan Kerja; dan (5) Ekonomis.

METODE

PLN (Persero) ULP Ngunut setelah menyetting pada simulasi menggunakan software ETAP 19. Perhitungan manual dibantu dengan software Microsoft Excel. Diagram alur penelitian ini disajikan pada Gambar 1.

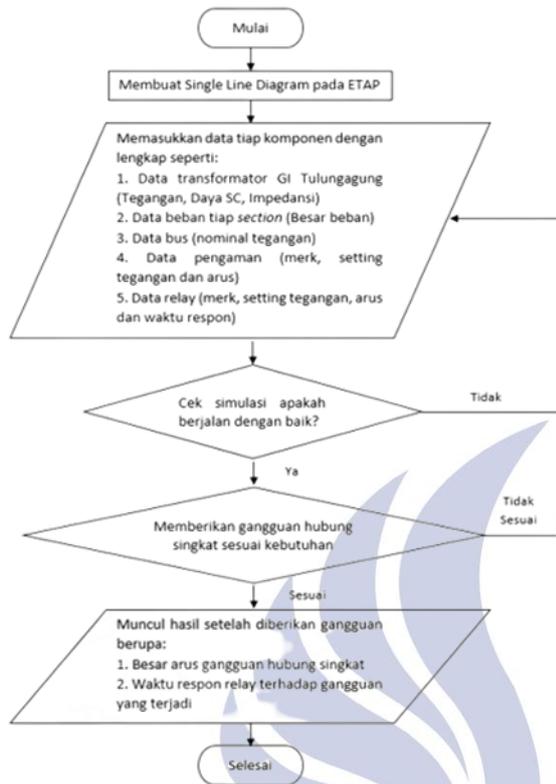


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Adapun disajikan diagram metode yang dijalankan pada penelitian ini seperti pada Gambar 2. Penelitian dilaksanakan di PT. PLN (Persero) ULP Ngunut yang berlokasi Jalan Raya Pulosari, Dusun Karang Tengah, Desa

Pulosari, Kecamatan Ngunut, Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur 66292.

247,4 Ampere memiliki belitan YNyn0. Adapula data yang mengatur tentang setting OCR dan *Recloser* seperti pada Tabel 2.



Gambar 2. Diagram Metode Penelitian

Penelitian ini membutuhkan dua jenis data yaitu data primer dan data sekunder. Data primer yaitu jaringan sistem kelistrikan (Single Line Diagram) PT. PLN (Persero) ULP Ngunut, data peralatan kelistrikan seperti peralatan proteksi dan transformator PT. PLN (Persero) ULP Ngunut., dan data transformator, data penyulang, data koneksi jaringan, dan data pendukung lainnya. Data sekunder yaitu data-data yang pernah ada sebelumnya atau data yang diperoleh dari pihak kedua atau ketiga seperti jurnal, artikel ilmiah, buku, dan sebagainya. Teknik pengambilan data yang dipakai ada dua yaitu interview dan observasi di lapangan secara langsung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Didapatkan hasil berupa data seperti pada Tabel 1. Trafo dengan merek Pauwels Trafo ini berstandar *International Electrotechnical Commission*, berarus nominal sekitar

Tabel 1. Spesifikasi Trafo 1 GI Tulungagung

Trafo 1 GI Tulungagung	
Merek	Pauwels Trafo
Standard	EIC
<i>Connection Symbol</i>	YNyn0
Tegangan	70/20 kV
FLA	247,4 A
Daya	30 MVA
Impedansi	12,5 %
Frekuensi	50 Hz

Tabel 2. Data OCR

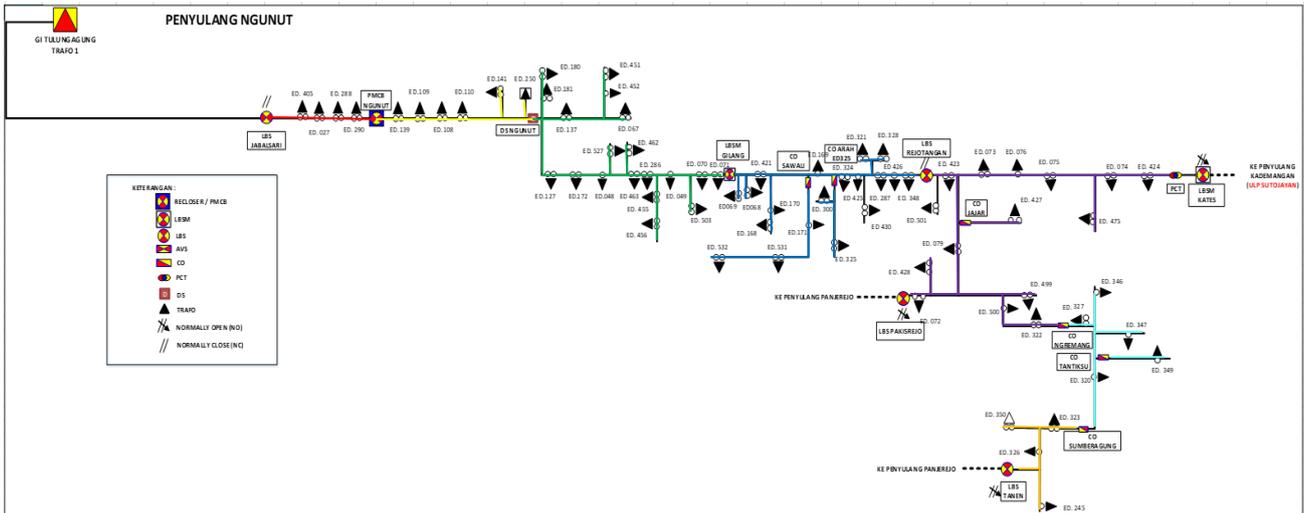
Daerah Proteksi	Rasio CT	Spesifikasi	Arus Pickup	TMS
OCR <i>outgoing</i>	100/1	Alstom P120	400	0,2
Recloser	100/1	Alstom P120	178	0,1

Rasio CT merupakan pembanding besar arus primer dan sekunder, arus *pickup* adalah penyetelan yang dipakai pada relai yang kemudian memberikan perintah pemutusan tenaga, dan *Time Multiplier Setting (TMS)* adalah parameter yang dibutuhkan untuk menentukan urutan kerja dari relai tersebut.

Penyulang Ngunut mensuplai sebanyak 70 trafo distribusi, sehingga untuk memudahkannya maka dibagi menjadi 7 (tujuh) section untuk memudahkan analisis seperti pada Tabel 3.

Adapun data jenis kabel pada penyulang Ngunut yaitu seperti pada Tabel 4. Kemudian sesuai dengan SPLN 64: 1985 nilai impedansi kabel secara teknis yaitu dapat dilihat pada Tabel 5.

Penyulang Ngunut dipilih sebagai lokasi analisis sistem proteksi dengan *single line diagram (SLD)* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3. Penjelasan dari komponen yang ada pada SLD penyulang Ngunut tersedia di dalam gambar 3.



Gambar 3. Single Line Diagram Penyulang Ngunut

Memiliki panjang kabel 47, 614 KMS, meliputi 70 Trafo Distribusi, 1 Recloser, 6 Fuse Cut Out (FCO), 6 Load Break Switch (LBS) dan beberapa komponen lainnya.

Tabel 3. Data Pembebanan Trafo Distribusi

Nama	Warna	Rating KVA	Rating KW
Section 1	—	375,6	319,3
Section 2	—	306,8	260,8
Section 3	—	1256,3	1067,9
Section 4	—	1177,2	1000,6
Section 5	—	1082,9	920,5
Section 6	—	292,5	248,6
Section 7	—	183,6	156,1

Setiap *section* diberikan warna berbeda-beda untuk memudahkan pemahaman. Rating KVA merupakan daya semu atau total daya aktif dan daya reaktif, sedangkan rating KW merupakan daya aktif dari beban yang dapat dipakai oleh pelanggan secara langsung.

Tabel 4. Data Penghantar

Penyulang	Jenis kabel	Panjang Penyulang	Bahan
Ngunut	A3C (3x150mm)	47, 614 KMS	Al

Tabel 5. Nilai Teknis Kabel A3C 150mm²

Kabel A3C (150mm ²)	Ohm	
	R	jX
Positif	0,2162	0,3305
Negatif	0,2162	0,3305
Nol	0,3631	1,6180

Kabel AAAC (A3C) 150mm² sendiri merupakan konduktor arus listrik yang berbahan aluminium. Kabel ini biasa digunakan pada jaringan distribusi tegangan menengah 20kV. Kabel A3C ini memiliki impedansi tiga fasa simetris urutan positif, negatif, dan nol yang artinya hanya bisa terukur bila dialiri dengan arus urutan yang sama (SPLN 64: 1985).

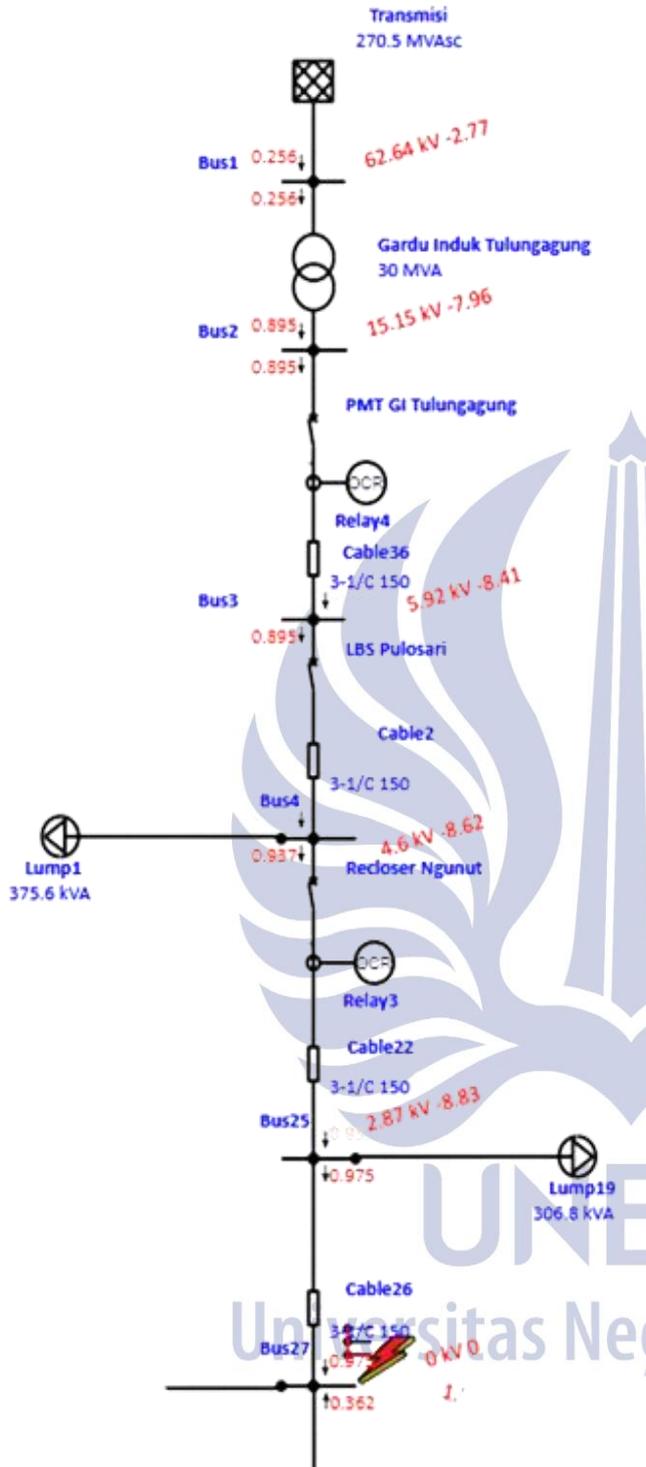
Pengujian Menggunakan ETAP

Setelah membuat simulasi *single line diagram* pada ETAP, diberikan simulasi gangguan pada salah satu bus setelah recloser. Didapatkan hasil seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.

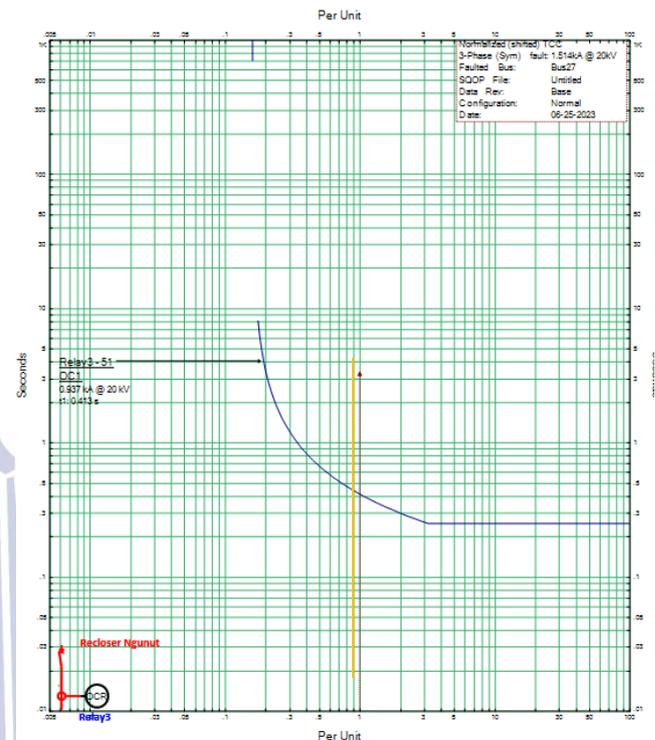
Angka warna merah yang muncul pada Gambar 4 menunjukkan besaran arus yang mengalir pada jaringan listrik. Listrik merah menunjukkan daerah yang diberikan simulasi gangguan hubung singkat yang mana menyebabkan terjadinya pemutusan aliran listrik oleh relai proteksi.

Dapat dilihat pada Gambar 5, relai recloser Ngunut trip *overcurrent* dengan arus gangguan sebesar 0,937 kA dengan waktu selama 413 ms yang mana sangat cepat dalam merespon gangguan. Sedangkan CB dari Incoming Penyulang Ngunut tidak merasakan arus gangguan karena sudah teratasi dengan baik oleh CB recloser Ngunut. Sehingga dapat disimpulkan bahwa CB yang terpasang pada penyulang Ngunut memiliki koordinasi yang baik.

Selanjutnya dapat dilihat pada Gambar 6, garis oranye menunjukkan gangguan yang terjadi dan garis biru menunjukkan respon dari relai. Pemutus relai recloser Ngunut menjadi pemutus pertama yang merasakan adanya gangguan kemudian segera memutuskan tenaga dengan waktu yang sangat cepat yaitu 0,413 s. Sehingga relai recloser Ngunut sebagai *maintenance protection* agar gangguan/trip yang terjadi tidak langsung mengenai relai Incoming penyulang Ngunut.

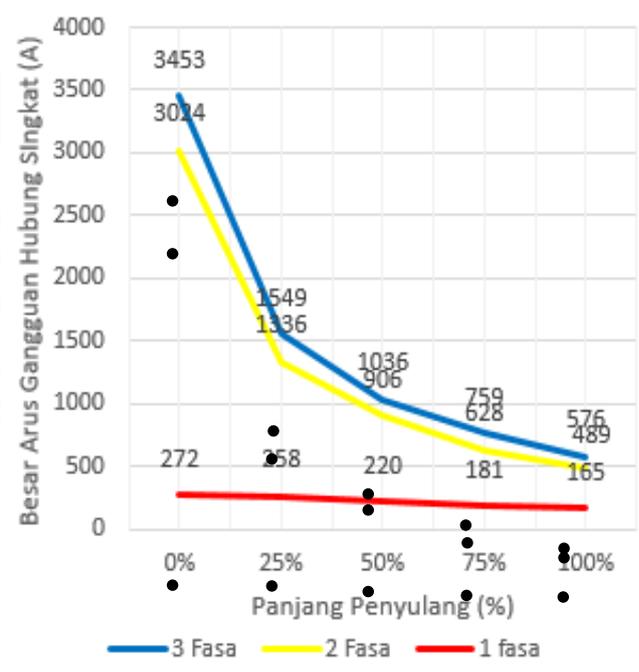


Gambar 4. Run Simulasi Gangguan di Penyulang Ngunut



Gambar 6. Kurva Arus Waktu Proteksi Recloser Ngunut

Disajikan pula hasil besar arus hubung singkat dengan jara berbeda-beda seperti pada Tabel 6 dan kurva arus gangguan hubung singkatnya pada Gambar 7.



Gambar 7. Kurva Arus Gangguan Hubung Singkat dengan ETAP

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on bus: Bus27

Data Rev.: Base Config: Normal Date: 06-25-2023

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
413	Relay3	0.937	413		Phase - OC1 - 51
413	Recloser Ng...	0.0	0.0		Tripped by Relay3 Phase - OC1 - 51

Gambar 5. Report Simulasi gangguan di Penyulang Ngunut.

Tabel 6. Perbandingan Arus Hubung Singkat dengan ETAP

% Panjang	I _{3fasa} (A)	I _{2fasa} (A)	I _{1fasa ke tanah} (A)
0%	3453	3024	272
25%	1549	1336	258
50%	1036	906	220
75%	759	628	181
100%	576	489	165

Persentase panjang yang disajikan merupakan jauh jarak gangguan hubung singkat yang terjadi dari sumber tenaga. Berdasarkan nilai arus hubung singkat tersebut didapatkan hasil bahwa semakin jauh jarak gangguan hubung singkat dari sumber tenaga, maka semakin kecil arus hubung singkatnya. Dan semakin besar fasanya, semakin besar pula arus hubung singkat yang terjadi (Simanjuntak, dkk, 2018)

Perhitungan Impedansi

Selanjutnya dilakukan perhitungan impedansi. Perhitungan nilai impedansi dilakukan guna melakukan perhitungan nilai arus hubung singkat nantinya.

Impedansi Sumber

Sisi Primer dengan Persamaan (1).

$$Z_s (70kV) = j (kV \text{ sisi } 70kV)^2 / MVA_{sc} \quad (1)$$

Tegangan sisi primer sebesar 70kV dan daya hubung singkat sebesar 270,5 MVA, menggunakan Persamaan (1) didapatkan nilai imajiner sebesar j18,1146 Ω Sisi Sekunder dengan Persamaan (2).

$$Z_s (20kV) = j (kV \text{ sisi } 20kV)^2 / (kV \text{ sisi } 70kV)^2 \times Z_s(70kV) \quad (2)$$

Tegangan sisi sekunder sebesar 20kV dan sisi primer sebesar 70kV, menggunakan Persamaan (2) didapatkan nilai imajiner sebesar j1,4787 Ω Impedansi Transformator dengan Persamaan (3).

$$Z_T (100\%) = j (kV \text{ sisi } 20kV)^2 / MVA_T \quad (3)$$

Tegangan sisi sekunder sebesar 20kV dan daya pada trnsformator sebesar 30MVA, menggunakan Persamaan (3) didapatkan nilai imajiner impedansi transformator 100% panjang penyulang sebesar j13,3333 Ω Impedansi tarnsformator urutan positif dan negative dengan Persamaan (4).

$$Z_{1T} = Z_{2T} = Z_T (12,5\%) \times Z_T \quad (4)$$

Impedansi transformator sebesar 0,125, menggunakan Persamaan (4) mendapatkan nilai imajiner sebesar j1,6667 Ω. Impedansi transformator urutan nol dengan Persamaan (5)

$$Z_{0T} = 10 \times Z_{1T} \quad (5)$$

Trafo memiliki hubungan YNyn0, sehingga besarnya Z_{0T} antara 9 sampai 14, dipilih 10, menggunakan Persamaan (5) didapatkan nilai imajiner sebesar j16,667 Ω Impedansi Penyulang Impedansi penyulang urutan positif dan negative dengan Persamaan (6).

$$Z_{1P} = Z_{2P} = (R_{1T} + jX_{1P}) \times l_p \quad (6)$$

Nilai teknis kabel urutan positif dan negative memiliki besar yang sama yaitu 0,2162 + j0,3305 Ω, kemudian total panjang penyulang sepanjang 47, 614 KMS, menggunakan Persamaa (6) didapatkan nilai imajiner sebesar 10,2941 + j15,7364 Ω

Impedansi penyulang urutan nol (Z_{0P}) memakai Persamaan (6), dimana nilai teknis kabel urutan nol sebesar 0,3631 + j1,6180 Ω dan total panjang penyulang sepanjang 47, 614 KMS, maka hasilnya sebesar 17,2886 + j77,0394 Ω

Pada penelitian ini memilih 5 jarak yang berbeda-beda yaitu 0% hingga 100% dengan nilai dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Hitung Impedansi Penyulang Berdasarkan Jarak Gangguan

% Panjang	Z _{1P} = Z _{2P} (Ω)	Z _{0P} (Ω)
0%	0,0 + j0,0	0,0 + j0,0
25%	2,573 + j3,9341	4,3222 + j19,2599
50%	5,1470 + j7,8682	8,644 + j38,5197
75%	7,7205 + j11,8023	12,9665 + j57,7796
100%	10,2941 + j15,7364	17,2886 + j77,0394

Impedansi Ekuivalen

Impedansi ekuivalen urutan positif dan negative dengan Persamaan (7).

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_s(20kV) + Z_{1T} + Z_{1P} \quad (7)$$

Impedansi sumber sisi sekunder sebesar j1,4787 Ω, impedansi tranformator urutan positif dan negative sebesar j1,6667 Ω dan nilai teknisnya sebesar 10,2941 +

$j15,7364 \Omega$, menggunakan Persamaan (7) maka hasilnya sebesar $10,2941 + j18,8818 \Omega$

Impedansi ekuivalen jaringan urutan nol dengan Persamaan (8).

$$Z_{0eq} = Z_{0T} + 3R_n + Z_{0P} \quad (8)$$

Impedansi transformator urutan nol memiliki nilai $j16,667 \Omega$, R_n memiliki nilai 40 dan nilai teknisnya sebesar $17,2886 + j77,0394 \Omega$, menggunakan Persamaan (8) maka hasilnya sebesar $137,2886 + j93,7064 \Omega$

Pada penelitian ini memilih 5 jarak yang berbeda-beda yaitu 0% hingga 100% dengan nilai pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Hitung Impedansi Ekuivalen jaringan Berdasarkan Jarak Gangguan

% Panjang	$Z_{1eq} = Z_{2eq}$ (Ω)	Z_{0eq} (Ω)
0%	$0 + j3,1454$	$120 + j16,667$
25%	$2,573 + j7,0795$	$124,3222 + j35,9269$
50%	$5,1470 + j11,0136$	$128,644 + j55,1867$
75%	$7,7205 + j14,9477$	$132,9665 + j74,4466$
100%	$10,2941 + j18,8818$	$137,2886 + j93,7064$

Perhitungan Nilai Arus Gangguan Hubung Singkat

Besar nilai impedansi ekuivalen jaringan telah diketahui, kemudian dilakukan perhitungan arus gangguan hubung singkat sesuai jenis gangguan hubung singkatnya.

Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa dengan Persamaan (9).

$$I_{3fasa} = V_{ph}/Z_{1eq} \quad (9)$$

Tegangan 3 fasa yaitu $20000/\sqrt{3}$ V, menggunakan Persamaan (9) maka didapatkan hasil perhitungan $11547/Z_{1eq}$ A.

Nilai arus gangguan hubung singkat 3 fasa untuk jarak gangguan yang berbeda-beda dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Arus gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

% Panjang	I_{3fasa} (A)
0%	3671,0752
25%	1532,9424
50%	949,8285
75%	686,3496
100%	536,9299

Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa dengan Persamaan (10)

$$I_{2fasa} = (V_{ph-ph})/(Z_{1eq} + Z_{2eq}) \quad (10)$$

Tegangan fasa ke fasa sebesar 20000 V, menggunakan Persamaan (10) maka didapatkan hasil perhitungan $20000/(2 \times Z_{1eq})$ A.

Nilai arus gangguan hubung singkat 2 fasa dengan jarak berbeda-beda dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Arus gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

% Panjang	I_{2fasa} (A)
0%	3179,2459
25%	1327,5677
50%	822,5759
75%	594,3964
100%	464,9951

Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah dengan Persamaan (11).

$$I_{1fasa} = (3 \times V_{ph})/(Z_{0eq} + Z_{1eq} + Z_{2eq}) \quad (11)$$

Tegangan fasa sebesar $20000/\sqrt{3}$ V, menggunakan Persamaan (10) maka didapatkan hasil perhitungan $34641/(Z_{0eq} + (2 \times Z_{1eq}))$ A.

Maka nilai arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah untuk jarak gangguan berbeda-beda seperti pada Tabel 11.

Tabel 11. Arus gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

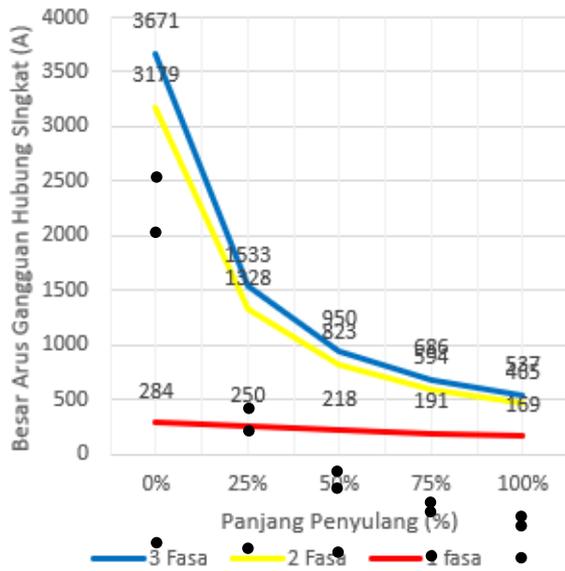
% Panjang	I_{1fasa} (A)
0%	283,5328
25%	249,5414
50%	217,932
75%	190,947
100%	168,6108

Setelah menghitung semua arus gangguan hubung singkat mulai dari 3 fasa hingga 1 fasa ke tanah, maka dibuat suatu perbandingan demi mengetahui pengaruh besar arus gangguan hubung singkat terhadap jarak gangguan yang terjadi seperti pada Tabel 12.

Adapun peneliti sajikan dalam bentuk kurva untuk memudahkan pemahaman pembaca dapat dilihat pada Gambar 8.

Tabel 12. Perbandingan Arus Gangguan Hubung Singkat Perhitungan

% Panjang	Arus Gangguan Hubung Singkat (A)		
	3 fasa	2 fasa	1 fasa
0%	3671	3179	284
25%	1533	1328	250
50%	950	823	218
75%	686	594	191
100%	537	465	169



Gambar 8. Kurva Arus Gangguan Hubung Singkat Perhitungan

Selain untuk mengetahui pengaruh jarak gangguan hubung singkat terhadap besar arus gangguannya, mengetahui nilai arus gangguan juga dapat digunakan sebagai acuan setting *overcurrent relay* (OCR) dan *ground fault relay* (GFR).

Selain itu, kita juga dapat mengetahui nilai arus gangguan hubung singkat tertinggi berada di gangguan hubung singkat 3 fasa dan terkecil berada pada 1 fasa. Hal ini sesuai dengan hukum ohm yang mana berbunyi besar arus listrik pada penghantar berbanding searah terhadap tegangan sedangkan berbalik terhadap hambatan (Hidayat, 2021).

Perbandingan Arus Gangguan Hubung Singkat Hasil Simulasi dan Perhitungan

Untuk menentukan persentase eror menggunakan rumus:

$$\frac{(a - b)}{b} \times 100\% \tag{12}$$

Dimana:

a = nilai simulasi

b = nilai perhitungan

Menggunakan persamaan 12, didapatkan nilai persentase eror pada setiap jarak dan setiap jenis gangguan hubung singkat dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Persentase Eror Gangguan Hubung Singkat

% Panjang	Nilai Persentase Eror		
	3 fasa	2 fasa	1 fasa
0%	5,93%	4,87%	4,41%
25%	1,04%	0,6%	3,1%
50%	9,05%	10,08%	0,9%
75%	10,64%	4,88%	5,52%
100%	7,26%	5,16%	2,42%

Diketahui eror tertinggi berada pada gangguan hubung singkat 3 fasa di jarak 75% dari sumber tenaga yaitu sebesar 10,64% dan terkecil pada gangguan hubung singkat 2 fasa di jarak 25% yaitu sebesar 0,6%. Namun tidak ada perbedaan besar arus yang sangat signifikan karena baik dari hasil simulasi maupun hasil perhitungan besar arus gangguan hubung singkatnya sama-sama semakin kecil seiring dengan jauh jarak gangguan dari sumber tenaga listrik.

Perhitungan Setting OCR dan GFR

Dilakukan penyetelan OCR Penyulang. Relai yang terpasang adalah relai inverse biasanya disetting sebesar 1,05 sampai 1,1 x I_{maks}. Adapun penyetelan waktu minimum yaitu kurang dari 0,3s.

Arus pada sisi primer transformator dengan Persamaan (13).

$$I_{set (prim)} = 1,05 \times I_{beban} \tag{13}$$

Setting relai sebesar 1,05 dan besar arus beban sebesar 148,3 A, menggunakan Persamaan (13) maka didapatkan besar arus setting primer sebesar 155,715 A

Arus pada sisi sekunder transformator dengan Persamaan (14).

$$I_{set (sec)} = I_{set (prim)} \times 1/\text{rasio CT} \tag{14}$$

Transformator arus pada relai memiliki rasio sebesar 100/1, sehingga menggunakan Persamaan (14) besar arus setting sekundernya sebesar 1,56 A

TMS OCR dengan Persamaan (15).

$$TMS = \left(\left[\frac{I_{3\text{fasa } 0\%}}{I_{set (prim)}} \right]^{0,02} - 1 \right) / 0,14 \times t \tag{15}$$

Arus 3 fasa 0% sebesar 3671,0752 A dan setting waktu minimum relai sebesar 0,3s, menggunakan Persamaan (15) maka didapatkan waktu setting sebesar 0,1398 s

OCR *Incoming* seperti Arus nominal dengan Persamaan (16).

$$I_{nominal (20kV)} = MVA_T / \sqrt{3} V_{ph-ph} \tag{16}$$

Daya transformator sebesar 30 MVA dan tegangan fasa ke fasa sebesar 20 kV, menggunakan Persamaan (16) didapatkan nilai arus nominal sebesar 866,0254 A

Arus pada sisi primer menggunakan Persamaan (13) dengan setting relai sebesar 1,05 dan arus nominal 866,0254 A maka didapatkan hasil sebesar 909,3267 A

Arus pada sisi sekunder menggunakan Persamaan (14), transformator arus memiliki rasio 100/1 maka didapatkan hasil sebesar 9,0933 A

TMS OCR menggunakan Persamaan (15), arus 3 fasa 0% sebesar 3671,0752 A dan setting waktu minimum relai sebesar 0,7s, maka waktu setting sebesar 0,1415 s

Dilakukan penyetelan GFR Penyulang. Arus pada sisi primer dengan Persamaan (17).

$$I_{\text{set (prim)}} = 10\% \times I_{1 \text{ fasa}} (100\%) \quad (17)$$

Penyetelan arus sesuai pedoman yaitu 10% dari besar arus gangguan 1 fasa terendah yaitu jarak 100% panjang penyulang sebesar 168,6108, menggunakan Persamaan (17) didapatkan hasil 16,8611 A. Arus pada sisi sekunder menggunakan Persamaan (14), arus setting primer sebesar 16,8611 dengan rasio 100/1 didapatkan hasil 0,1686 A. TMS GFR menggunakan Persamaan (15), dipilih arus gangguan hubung singkat 1 fasa 0% penyulang sebesar 283,5328A dan setting waktu minimum 0,3s menghasilkan waktu setting selama 0,1244 s

GFR *Incoming*. Arus pada sisi primer menggunakan Persamaan (17), penyetelan arus incoming dipilih lebih rendah yaitu 8% dari besar arus gangguan 1 fasa terkecil 100% panjang penyulang sebesar 168,6108 didapatkan hasil sebesar 13,4889 A. Arus pada sisi sekunder menggunakan Persamaan (14), dengan rasio transformator arus 100/1 maka besarnya 0,1349 A. TMS GFR menggunakan Persamaan (15), dipilih arus gangguan hubung singkat 1 fasa 0% penyulang sebesar 283,5328 dan setting waktu minimum 0,7s didapatkan hasil waktu setting selama 0,314 s

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan baik dari hasil simulasi menggunakan ETAP maupun perhitungan manual, diketahui adanya sedikit perbedaan namun bukan menjadi hambatan dalam penelitian ini. Karena tentu di lapangan memiliki situasi dan kondisi tertentu yang menyebabkan perbedaan tersebut (Pratama, dkk, 2021).

Dilihat dari hasil simulasi gangguan dan hasil perhitungan manual, tidak ada setting arus dan waktu baik dari OCR maupun GFR yang melebihi setting dari outgoing penyulang. Karena jika itu terjadi dapat menyebabkan putusnya aliran listrik pada penyulang serta memperluas area padam atau dapat dikatakan peralatan dan sistem proteksi yang tidak terkoordinasi dan tersetting dengan baik.

PENUTUP

Simpulan

Disimpulkan bahwa sistem proteksi yang terpasang di PT. PLN (Persero) ULP Ngunut telah terkoordinasi dan tersetting dengan baik. Recloser Ngunut merespon trip sebesar 0,937kA dengan baik dan cepat yaitu 413 ms, sehingga arus gangguan tidak sampai mengenai PMT Ngunut. Hal tersebut juga didukung oleh perhitungan manual dengan hasil eror terkecil 0,6% hingga yang terbesar 10,64% dengan perbedaan yang tidak terlalu signifikan. Kemudian hasil nilai setting arus dan TMS OCR dan GFR sisi penyulang yang lebih sensitif daripada sisi incoming dengan nilai OCR sisi penyulang primer 155,715 A, sisi sekunder 1,56 A, dan TMS 0,1398 s, nilai

GFR sisi penyulang primer 16,8611 A, sisi sekunder 0,1686 A, dan TMS 0,1244 s, yang mana tersetting secara berurutan. Selain itu, didapatkan kesimpulan bahwa jarak titik gangguan yang terjadi berbanding terbalik terhadap besar arus gangguan hubung singkat. Serta arus gangguan terbesar terdapat di gangguan hubung singkat 3 fasa.

Saran

Masih banyak CB di daerah PT. PLN (Persero) ULP Ngunut yang kerjanya masih manual atau belum otomatis sehingga jika terjadi trip pemadaman masih skala cukup luas, jika diganti dengan CB otomatis akan mengurangi area dan waktu pemadaman. Serta diperlukan pengecekan berkala untuk peralatan proteksi di saluran jaringan tegangan menengah 20kV untuk menghindari kegagalan dan kerusakan, karena peneliti juga memahami peralatan proteksi memiliki stok yang terbatas disisi lain pasokan listrik kepada konsumen juga sangat penting.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriyan. Riki., Nasrulloh., dan Murdiantoro. Randi Adzin. 2022. *Analisis Koordinasi Over Current Relay (OCR) Dan Ground Fault Relay (GFR) Pada Sistem Distribusi 20 KV Studi Kasus di PT. PLN (Persero) ULP Sidareja*. Journal of Electronic and Electrical Power Application. 43-49.
- Azis. Abdul., dan Febrianti, Irine Katika. 2019. *Analisis Sistem Proteksi Arus Lebih Pada Penyulang Cendana Gardu Induk Bungaran Palembang*. Jurnal Ampere, 4(2), 332-344.
- Galla. Wellem F., Sampeallo, Agusthinus S., dan Daris, Julian I. (2020). *Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Saluran Udara 20 kV Di Penyulang Naioni PT. PLN (Persero) Ulp Kupang Untuk Menentukan Kapasitas Pemutusan Fuse Cut Out Menggunakan Etap 12.6*. Jurnal Media Elektro, 101-111.
- Hidayat. M. Akmal. 2021. *Evaluasi Sistem Proteksi pada Jaringan Tegangan Menengah Kabupaten Kepulauan Selayar*. Dewantara. J.Tech., 1(2): 23-28.
- Nisa. Aghnia Nur An, Marwan. Marwan, dan Idris. Ahmad Rosyid. 2019. *Analisis sistem proteksi di PT. PLN (Persero) sektor pembangkitan kendari unit PLTD Wua Wua*. TEKNO: Jurnal Teknologi Elektro dan Kejuruan, 29(2), 177-189.
- Pratama. I Putu Gede Aras Widya, Arjana. I Gede Dyana, dan Partha, Cok. Gede Indra. (2021). *Studi Koordinasi OCR dan GFR Saluran Distribusi Penyulang Sanda Untuk Meningkatkan Kontinuitas Pelayanan*. Jurnal SPEKTRUM Vol, 8(1).
- Simanjuntak. Rino P. M., Syafriyudin. S., dan Firman. Beny. 2018. *Analisis Keandalan Penempatan Recloser*

*Dan Besar Arus Hubung Singkat Di Pt. Pln (Persero)
Distribusi Area Yogyakarta. Jurnal Elektrikal, 4(1),
40-47.*

SPLN No.64 Tahun 1985. Petunjuk Pemeliharaan dan
Penggunaan Pelebur Pada Sistem Distribusi Tegangan
Menengah.

